Iranian Journal of Animal Science Research
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

Research Paper
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 531-547

Effects of L-Carnitine and Emulsifier in Low Energy Diets on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Biochemical Parameters and Meat Oxidative Stability of Broiler Chickens

Ali Shahmoradi[1], Shokoufe Ghazanfari[2]*, Seyed Davood Sharifi[2]

Received: 24-07-2022
Revised: 30-09-2022
Accepted: 02-10-2022
Available Online: 02-10-2022

How to cite this article:
Shahmoradi, A., Ghazanfari, S., & Sharifi, S.D. (2023). Effects of L-carnitine and emulsifier in low energy diets on growth performance, nutrient digestibility, blood biochemical parameters and meat oxidative stability of broiler chickens. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *14*(4), 531-547.
DOI: 10.22067/ijasr.2022.77845.1090

Introduction The most important effect of using emulsifiers and l-carnitine in the diet is to help the process of digestion and absorption of fats. Improving the efficiency of metabolizable energy consumption and crude protein when emulsifier and l-carnitine supplements used in the diet indicates the positive effect of emulsifiers on the digestion and absorption of fats and other nutrients. Considering the different metabolic activities l-carnitine and emulsifier (lipidol) in broiler chickens, it seems that the use of these compounds together in low-energy diets can significantly improve the performance of broiler chickens. Therefore, the present research investigated the role of lipidol and l-carnitine supplements in reducing the negative effects of low-energy diets on growth performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, blood biochemical parameters and meat oxidative stability of broiler chickens.

Materials and Methods The experiment was carried out in a completely randomized design with five treatments in four replicates and 12 chickens in each replicate. Broiler chickens were fed with diets including: 1. control diet 2. Low energy diet (150 kcal/kg less than the control diet) 3. Low energy diet + 100 ppm l-carnitine 4. Low energy diet + 1 g / kg lipidol 5. Low energy diet + 100 ppm l-carnitine + 1 g / kg lipidol for 42 days. Then, the growth performance of chickens, carcass characteristics, blood biochemical indicators (total antioxidant capacity, triglyceride, cholesterol, LDL and HDL concentrations), nutrient digestibility (dry matter, protein, fat and organic matter) in starter and grower periods and meat oxidative stability of broiler chickens were measured and recorded. Finally, the analysis of data was performed using GLM method by SAS software. The means were compared using Tukey's multiple range tests.

Results and Discussion The results showed that there was no difference in feed intake between the birds receiving the control diet and the other diets. Weight gain and feed conversion ratio of birds were significantly improved by control diet than other treatments ($P<0.05$). However, birds receiving low-energy diets containing lipidol + l-carnitine had the same feed conversion ratio (1.79) as birds receiving the control diet (1.75). Birds fed with low-energy diets containing lipidol and lipidol + l-carnitine had better weight gain and feed conversion ratio than birds fed with low-energy diets containing l-carnitine and without additives ($P<0.05$). Compared to the control treatment, the birds that were fed with low-energy diets containing lipidol and l-carnitine separately and together had a lower abdominal fat percentage (0.4%) ($P<0.05$). Also, birds fed with the control diet showed a tendency to increase the heart percentage compared to other experimental treatments ($P=0.06$). Birds fed with low energy diets containing lipidol and lipidol + l-carnitine had higher dry matter (3.6%), protein (7.8%) and fat (6.6%) digestibility in the starter period and higher digestibility of dry matter (6.9%) in the grower period compared to other treatments ($P<0.05$). In general, in the starter period, the birds fed with control diet showed

1- Former M.Sc. Student, Department of Livestock and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Livestock and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran.
*Corresponding Author Email: shghazanfari@ut.ac.ir

lower digestibility of protein (P=0.06) and fat (P<0.05), and in the growth period, the digestibility of dry matter was lower than the birds fed with other diets. Birds that were fed with low energy diets containing lipidol and l-carnitine separately or together had higher total antioxidant capacity compared to birds fed with control diet and low energy diet without additives (P<0.05). Also, birds that were fed with low-energy diets containing l-carnitine and lipidol + l-carnitine had lower blood triglyceride (P=0.05) cholesterol and LDL concentrations compared to birds fed with control diet and low-energy diet without additives (P<0.05). Birds fed with low energy diet containing lipidol + l-carnitine increased blood HDL level compared to birds receiving low energy diet without additives (P<0.05). Birds that were fed with low-energy diets containing lipidol and l-carnitine separately and together had lower concentrations of malondialdehyde in thigh and breast meats on days 3, 6 and 9 after slaughter and kept in a refrigerator (4C) compared to birds fed with low energy diets without additives and control diet (P<0.01).

Conclusion Finally, the simultaneous utilization of 100 ppm l-carnitine and 1 g / kg lipidol in low-energy diet showed similar growth performance when compared with control diet and led to improved carcass quality, fat, protein and dry matter digestibility, blood lipid parameters and meat shelf life of broiler chickens.

Keywords: Emulsifier, L-carnitine, Broiler chickens, Blood lipid parameters, Fat digestibility, Meat shelf life

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
Homepage: https://ijasr.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

جلد ۱۴، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۱، ص ٥٤٧-٥٣۱

اثرات ال-کارنیتین و امولسیفایر در جیره‌های کم انرژی بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون و پایداری اکسیداتیو گوشت جوجه‌های گوشتی

علی شاهمرادی[۱]، شکوفه غضنفری[۲]*، سید داود شریفی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰

چکیده

در آزمایش حاضر، تأثیر افزودن امولسیفایر (لیپیدول) و ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون و پایداری اکسیداتیو گوشت جوجه‌های گوشتی مورد بررسی قرار گرفت. ۲۴۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ در قالب طرح کاملا تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار مورد استفاده قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- شاهد، ۲- تیمار حاوی جیره کم انرژی (۱۵۰ کیلوکالری بر کیلوگرم کمتر از جیره شاهد)، ۳- جیره کم انرژی + ppm ۱۰۰ ال-کارنیتین، ۴- جیره کم انرژی + یک گرم در کیلوگرم لیپیدول و ۵- جیره کم انرژی + ppm ۱۰۰ ال-کارنیتین + یک گرم در کیلوگرم لیپیدول بودند. نتایج پژوهش نشان داد، پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی حاوی لیپیدول + ال-کارنیتین ضریب تبدیل خوراک (۱/۷۹) مشابهی با پرندگان دریافت‌کننده جیره شاهد (۱/۷۵) در کل دوره پرورش داشتند. پرندگانی که با جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و لیپیدول + ال-کارنیتین تغذیه شدند، قابلیت هضم ماده خشک (۳/۶ درصد)، پروتئین (۷/۸ درصد) و چربی (۶/۶ درصد) بهتری در دوره آغازین و قابلیت هضم ماده خشک (۶/۹ درصد) بهتری در دوره رشد در مقایسه با شاهد داشتند (P<۰/۰۵). پرندگانی که با جیره کم انرژی حاوی لیپیدول + ال-کارنیتین تغذیه شده بودند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و غلظت لیپوپروتئین با چگالی بالا خون بیشتر و همچنین غلظت‌های تری‌گلیسرید، کلسترول و لیپوپروتئین با چگالی پایین خون کمتری در مقایسه با شاهد داشتند (P<۰/۰۵). افزودن لیپیدول و ال-کارنیتین به‌صورت جدا و با هم در جیره‌های کم انرژی سبب کاهش درصد چربی شکمی (۰/۴ درصد) و غلظت مالون‌دی‌آلدئید گوشت در مقایسه با شاهد شدند (P<۰/۰۵). در نهایت، استفاده هم‌زمان از لیپیدول و ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی نسبت به جیره شاهد بدون تأثیر منفی بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی موجب بهبود کیفیت لاشه، قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه‌های چربی خون و ماندگاری گوشت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ال-کارنیتین، امولسیفایر، جوجه‌های گوشتی، فراسنجه‌های چربی خون، قابلیت هضم چربی، ماندگاری گوشت

مقدمه

بخش عمده‌ای از هزینه جیره در صنعت طیور، به تأمین انرژی مورد نیاز جهت دستیابی به حداکثر پتانسیل رشد پرنده مربوط می‌شود.

۱- دانشجوی فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
۲- دانشیار گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: shghazanfari@ut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ijasr.2022.77845.1090

در جیره طیور، ذرت و روغن سویا از جمله منابع تأمین‌کننده انرژی هستند. انرژی نقش بسیار مهم و محوری در تغذیه جوجه‌های گوشتی دارد. از این رو، یافتن راهکارهایی جهت افزایش قابلیت هضم و جذب چربی‌ها و در نتیجه، استفاده هرچه بیشتر پرنده از انرژی جیره به‌خصوص در سنین ابتدایی مورد توجه متخصصان تغذیه قرار گرفته است. برای منابع چربی به‌ویژه روغن‌های نباتی بین انسان و حیوانات رقابت وجود دارد و اگر بتوان با استفاده از راهکارهایی، میزان انرژی مصرفی در جیره را کاهش داد، می‌توان این رقابت را برای مواد با ارزشی همچون روغن‌های نباتی کاهش دهیم. از طرفی، کاهش انرژی جیره به تنهایی عواقبی از جمله کاهش مصرف خوراک،

عملکرد رشد و ضرایب قابلیت هضم را دارد (Papadopoulos et al., 2018). در چنین مواقعی باید از افزودنی‌هایی استفاده کرد که اثرات منفی جیره‌های کم انرژی را کاهش دهد. یکی از این افزودنی‌ها، ترکیبات امولسیون‌کننده در جیره هستند. اکثر امولسیفایرها دارای ساختمان آمفی‌فیلیک هستند، یعنی هم حاوی گروه‌های قطبی و هم گروه‌های غیرقطبی می‌باشند. در واقع امولسیفایرها دارای دو بخش هیدروفیلیک (آبدوست) و هیدروفوبیک (آبگریز) هستند که با بخش هیدروفیلیک خود در آب و با بخش هیدروفوبیک در قطرات روغن حل می‌شوند (Zhao et al., 2015). هنگامی که امولسیفایرها به دو مایع غیرقابل امتزاج افزوده شوند، در حد فاصل بین دو فاز قرار گرفته و سطح قطرات فاز پراکنده را با ایجاد یک لایه نازک به دور آن پوشش می‌دهند و به این ترتیب فشار بینابینی را کاهش داده و از به هم چسبیدن و یکی‌شدن قطرات جلوگیری می‌کنند و در نتیجه، موجب پایداری امولسیون می‌گردند. از آن جایی که چربی‌ها در آب نامحلولند و محیط دستگاه گوارش نیز یک محیط آبی است، بنابراین قبل از این که چربی‌ها توسط آنزیم‌های لیپولیتیک هضم شوند، می‌بایست تشکیل امولسیون دهند (Gu and Li, 2003). امولسیفایرها توانایی بهبود قابلیت هضم چربی‌ها خصوصاً چربی‌های حیوانی را دارا می‌باشند، چرا که اسیدهای چرب موجود در چربی‌های حیوانی معمولاً به‌صورت اشباع بوده و به‌شدت به تشکیل میسل برای جذب نیاز دارند. همچنین ممکن است در غلبه بر ناکافی بودن میزان صفرای تولیدی توسط کبد و بازچرخ آن در پرندگان جوان نقش داشته باشند. در تحقیقی اثبات نمودند که لیزوفسفاتیدیل کولین قابلیت هضم ظاهری اسیدهای چرب، میزان اضافه وزن و ضریب تبدیل خوراک را در جوجه‌های گوشتی جوان بهبود داد. مهم‌ترین تأثیر استفاده از امولسیفایرها در جیره، کمک به فرآیند هضم و جذب چربی‌هاست. بهبود راندمان مصرف انرژی قابل متابولیسم و پروتئین خام در هنگام استفاده از مکمل امولسیفایر در جیره، نشان‌دهنده اثر مثبت امولسیفایر بر هضم و جذب چربی‌ها و سایر مواد مغذی می‌باشد (Sugawara et al., 2001).

معمولا اکثر پرورش‌دهندگان طیور از منابع معمول پروتئین و معمولاً از کنجاله سویا برای تأمین پروتئین مورد نظر طیور استفاده می‌کنند. امّا جیره‌های با منشأ گیاهی، از مقدار ال-کارنیتین کمی بهره‌مند می‌باشند (Abedpour et al., 2017). ال-کارنیتین (بتاهیدروکسی گاما- تری متیل آمینو بوتیرات) یک آمین چهار ظرفیتی قابل حل در آب با وزن مولکولی ۱۶۲/۱۲ دالتون است. ال-کارنیتین از اسیدهای آمینه ضروری ال- لیزین و ال- متیونین سنتز می‌شود. زنجیره چهار کربنی ال-کارنیتین توسط ال- لیزین و گروه-های متیل آن از ال-متیونین مشتق شده است. سنتز متابولیکی ال-کارنیتین در حد نیاز انجام می‌شود. امّا در شرایط استرس‌زا و در حیوانات با عملکرد بالا صادق نیست. بیوسنتز ال-کارنیتین توسط نوع جیره، سن و وضعیت هورمونی طیور تنظیم می‌شود. همچنین غلظت ال-کارنیتین در بین گونه‌ها، انواع بافت‌ها و شرایط تغذیه‌ای متفاوت می‌باشد. ال-کارنیتین به‌عنوان یک حمل‌کننده ضروری آسیل در بتااکسیداسیون میتوکندریایی اسیدهای چرب بلند زنجیر به داخل میتوکندری برای تولید انرژی عمل می‌کند و از این طریق مانع تخلیه گلیکوژنی می‌شود و عملکرد میتوکندری و ضریب تبدیل خوراک را بهبود می‌بخشد و احتمالاً به‌دلیل خواص پاداکسندگی باعث کاهش آثار مضر رادیکال‌های آزاد خواهد شد. همچنین حذف اسیدهای چرب کوتاه زنجیر و متوسط زنجیر را که از طریق متابولیسم غیر طبیعی در سلول تجمع کرده را تسهیل می‌کند (Rebouche, 1992). در مطالعه‌ای به بررسی اثر محافظتی ال-کارنیتین بر استرس اکسیداتیو پرداختند. در این تحقیق نشان داده شده است که مصرف ال-کارنیتین سبب کاهش سطح مالون‌دی‌آلدئید به‌میزان ۳۰ درصد در کبد و ۱۰ درصد در سرم نسبت به گروه شاهد می‌شود (Gan et al., 2009). عملکرد آنتی‌اکسیدانی ال-کارنیتین در خنثی‌کردن اثرات اکسیداتیو، بیشتر از همه به توانایی این ترکیب در پاکسازی رادیکال‌های آزاد مربوط می‌شود. به همین دلیل ال-کارنیتین به‌عنوان یک افزودنی مناسب در خوراک برای بهبود عملکرد جوجه‌های گوشتی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به فعالیت‌های متابولیکی مختلفی که ال-کارنیتین و امولسیفایر (لیپیدول) در جوجه‌های گوشتی دارند، به نظر می‌رسد که استفاده از این ترکیبات به‌صورت با هم در جیره‌های کم انرژی موجب تغییرات قابل توجهی در بهبود صفات عملکردی جوجه-های گوشتی می‌شود. لذا در این تحقیق نقش لیپیدول و ال-کارنیتین در کاهش اثرات منفی جیره‌های کم انرژی بر صفات عملکرد رشد، خصوصیات لاشه، برخی فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون، قابلیت هضم مواد مغذی و پایداری اکسیداتیو گوشت جوجه‌های گوشتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش از ۲۴۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ با میانگین وزنی ۴۲ گرم در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار، چهار تکرار و ۱۲ مشاهده در هر تکرار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- شاهد، ۲- تیمار حاوی جیره کم انرژی (۱۵۰ کیلوکالری بر کیلوگرم کمتر از جیره شاهد)، ۳- جیره کم انرژی + ۱۰۰ ppm ال-کارنیتین، ۴- جیره کم انرژی + ۱ گرم در کیلوگرم لیپیدول و ۵- جیره کم انرژی + ۱۰۰ ppm ال-کارنیتین + ۱ گرم در کیلوگرم لیپیدول بودند. نیازمندی‌های توصیه شده توسط (NRC, 1994) برای دوره‌های مختلف آغازین (۱۰-۱ روزگی)، رشد (۲۴ -۱۱ روزگی) و پایانی (۴۲- ۲۵ روزگی) تأمین شدند. جیره‌های آزمایشی بر اساس ذرت-کنجاله سویا به‌استثنای انرژی با استفاده از نرم‌افزار جیره‌نویسی

UFFDA تنظیم گردیدند (جدول ۱). جوجه‌ها در طـول آزمـایش بـه سالنی دارای۲۰ پن (طول و عـرض ۱۰۰سـانتی‌متـر) منتقـل شـدند و به‌صورت آزاد به آب و غـذا دسترسـی داشـتند. برنامـه‌هـای مـدیریت پرورش جوجه‌ها، شامل دما، نور، واکسیناسیون، تراکم و بستر بـه‌طـور یکسان و مطابق با شرایط استاندارد توصیه شده انجام شد. پـرمیکس ال-کارنیتین به‌صورت پودر مخلوط در دان در بسته‌هـای آلومینیـومی پنج کیلوگرمی از شرکت کیان افرا پارس تهیـه شـد. لیپیـدول نیـز از شرکت تولیدی و صنعتی گروه سنا در بسته‌های ۲۵ کیلـوگرمی تهیـه شد. لیپیدول شـامل پـنج ترکیـب پلـی اتـیلن گلایکـول رسـینولئات، لیزوفسفاتیدیل کولین، لیزوفسفاتیدیک اسـید، لیزوفسـفاتیدیل اتـانول آمـین و لیزوفسـفاتیدیل اینوزیتـول اسـت. پـرمیکس ال-کـارنیتین و لیپیدول در ابتدا به‌صورت جداگانه با یک کیلوگرم ذرت آسـیاب شـده مخلوط شده و به وزن ۱۰ کیلوگرم رسیده و پس از آسیاب شدن کـل جیره به آن اضافه شد.

مصرف خوراک در هر واحد آزمایشـی بـه‌صـورت دوره‌ای انـدازه-گیری شد. مصرف خوراک واحدهای آزمایشی از کسر خوراک مصـرف شده در ابتدای دوره از خوراک اختصاص داده شده در شروع دوره، بـر مبنای روز جوجه محاسبه شد. در طول دوره آزمـایش تعـداد تلفـات و وزن آن‌ها ثبت شد تـا در محاسـبه افـزایش وزن و خـوراک مصـرفی جوجه‌های تلف شده در طی آزمایش منظـور شـود. میـانگین افـزایش وزن بدن جوجه‌های هر تکرار با توزین وزن جوجه‌های هـر قفـس در ابتدا و انتهای دوره به‌دست آمد. قبل از توزین پرندگان، بـه جوجـه‌هـا به‌مدت چهار ساعت محرومیت مصرف آب و دان تحمیل گردید تـا از لحاظ خالی بودن محتویات دستگاه گـوارش همسـان باشـند. ضـریب تبدیل خوراک با تقسیم خوراک مصـرفی هـر جوجـه در هـر دوره بـر میزان افزایش وزن محاسبه شد. در پایان دوره آزمایشی (۴۲ روزگی)، از هر تکرار دو قطعه جوجه با وزن نزدیک به میانگین انتخاب، تـوزین و کشتار شدند. پس از کشتار و پرکنی، محتویات شکم به‌دقـت خـارج شد. سپس وزن لاشه، کل دستگاه گوارش، کبد، قلب، چربی شـکمی، بورس‌فابرسیوس، طحال، سینه و ران اندازه‌گیـری شـد و وزن نسـبی آن‌ها به‌صورت درصدی از وزن زنده محاسبه شد.

به‌منظور بررسی فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون، در پایان آزمایش (۴۲ روزگی) از هر تکرار دو پرنده با وزن نزدیک بـه میـانگین تکـرار انتخاب و مقدار چهار میلی‌لیتر خون از طریق ســـیاهرگ بـال از هـر پرنده گرفته شـــد. سرم نمونه‌ها به‌کمک سانتریفیوژ بـا سـرعت۵۰۰۰ دور در دقیقه و به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گـراد جـدا شد. غلظت‌های تری‌گلیسرید، کلسترول و لیپوپروتئین‌هایی با چگـالی بالا و لیپوپروتئین‌هایی با چگالی پایین و ظرفیت آنتـی‌اکسـیدانی تـام سرم خون با استفاده از کیت تجاری (شرکت پـارس آزمـون، تهـران) انـدازه‌گیـری شـدند (Benzie and Strain, 1996). بـرای بررسـی قابلیت هضم مواد مغذی، پنج روز قبل از پایان دوره‌های آغـازین (۱۰ روزگی) و رشد (۲۴ روزگی)، به جیره غذایی پرندگان مقدار یک درصد سلیت به‌عنوان مارکر غیر قابل هضم اضافه شد. مطالعه قابلیت هضـم شامل سه روز دوره عادت‌پذیری و دو روز جمع‌آوری مدفوع بود. بعد از جدا کردن پـر و اشـیای خـارجی از نمونـه‌هـای مـدفوع، بـه ظـروف شماره‌دار انتقال و برای آنالیزهای بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. در ادامه، نمونه‌های جیره‌های مارکردار و مدفوع پرندگان از لحاظ درصـد ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خـام و چربـی خـام مـورد آنـالیز قـرار گرفتند (Schneitz *et al*., 1998). سپس قابلیت هضم مواد مغذی با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

معادله (۱)

$$\text{درصد قابلیت هضم} = \left(1 - \frac{\text{درصد مارکر جیره}}{\text{درصد مارکر فضولات}} \times \frac{\text{درصد ماده مغذی فضولات}}{\text{درصد ماده مغذی جیره}}\right) \times 100$$

در ۴۲ روزگی یک پرنده از هر تکرار به‌صورت تصادفی انتخـاب و پس از کشتار نمونه‌های ۲۰ گرمی از گوشـت ران و سـینه جـدا و بـه کیسه‌هـای تحـت خـلأ انتقـال یافـت و بـه‌منظـور بررسی پایـداری اکسیداتیو گوشت به فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد. سـنجش غلظت مالون‌دی‌آلدئید با استفاده از واکنش تیوباربیتوریک اسید انجـام گرفت. این روش بر اساس مقدار جذب نوری کمپلکس صورتی رنـگ حاصـل از واکـنش یـک مولکـول مـالون‌دی‌آلدئیـد بـا دو مولکـول تیوباربیتوریک اسید استوار است. میزان جذب نوری نمونه‌ها با دستگاه اسـپکتروفتومتر مـدل Perkin Elmer Lambda25 در طـول مـوج ۵۲۱/۵ نانومتر قرائت شدند. سپس مقدار مالون‌دی‌آلدئید در هر نمونـه (میکروگرم بر گرم) با توجه به منحنی استاندارد محاسبه شـد. بـرای محاسبه میزان مالون‌دی‌آلدئید، نمونه‌های گوشت ران و سـینه بعـد از یخ‌گشایی به‌مدت سه، شش و نه روز در یخچـال نگهـداری شـدند و سپس میزان مالون‌دی‌آلدئید در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Botsoglou *et al*., 1994). داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط نـرم‌افـزار SAS (SAS, 2005) نسخه ۹ برای مـدل آمـاری (رابطـه ۲) تجزیـه شدند. میانگین‌ها به‌کمک آزمون توکی در سطح پـنج درصـد مقایسـه شدند. شاهد با استفاده از مقایسـه‌هـای مسـتقل بـا دیگـر تیمارهـای آزمایشی در سطح پنج درصد مقایسه شد. مدل آماری به‌صـورت ذیـل است.

معادله (۲)

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

که در این معادله، Y_{ij}: مقدار مشاهده شده، μ: میـانگین جمعیـت، T_i: اثر تیمارها و e_{ij}: خطای آزمایشی است.

جدول ۱- جیره‌های پایه و کم انرژی در دوره‌های مختلف آغازین (۱ تا ۱۰ روزگی)، رشد (۱۱ تا ۲۴ روزگی) و پایانی (۲۵ تا ۴۲ روزگی)

Table 1- Basal and low energy diets at different periods including starter (1 to 10 days), grower (11 to 24 days) and finisher (25 to 42 days)

اجزای جیره (درصد) Ingredients (%)	آغازین Starter		رشد Grower		پایانی Finisher	
	جیره کم انرژی Low energy diet	جیره کنترل Control diet	جیره کم انرژی Low energy diet	جیره کنترل Control diet	جیره کم انرژی Low energy diet	جیره کنترل Control diet
ذرت Corn	51.73	56.00	58.93	63.10	64.23	67.50
گلوتن ذرت Corn gluten	0.7	3.5	0.6	2.8	0	2.5
کنجاله سویا Soybean meal	40.2	35.5	32.0	28.3	28.0	24.5
کنسانتره A یا B [1] Concentrate A or B[1]	2.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.0
روغن سویا Soybean oil	0.3	0.4	0.5	0.7	0.5	0.9
ماسه Sand	0	0	1.3	0	1.0	0
سنگ آهک Limestone	1.8	0.68	1.4	0.68	1.3	0.68
دی کلسیم فسفات DiCalcium phosphate	1.6	0.8	1.6	0.8	1.3	0.8
نمک Salt	0.35	0.30	0.35	0.30	0.35	0.30
ال- لیزین L-lysine	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
دی- ال- متیونین DL- methionine	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
مکمل ویتامینه[2] Vitamin premix	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
مکمل معدنی[3] Mineral premix	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ترکیبات شیمیایی (محاسبه شده) Nutrient Composition (calculated)						
انرژی قابل‌متابولیسم (کیلوکالری بر کیلوگرم) Metabolizable energy (kcal/kg)	2850	3000	2900	3050	2950	3100
پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	23.0	23.0	20.0	20.0	18.3	18.3
چربی (درصد) Fat (%)	2.30	2.50	2.30	2.60	2.64	2.79
کلسیم (درصد) Calcium (%)	1.06	0.90	1.09	1.1	0.85	0.70
فسفر قابل‌دسترس (درصد) Available phosphorus (%)	0.55	0.48	0.52	0.48	0.44	0.40
سدیم (درصد) Sodium (%)	0.15	0.17	0.18	0.17	0.19	0.17
متیونین (درصد) Methionine (%)	0.65	0.68	0.55	0.56	0.51	0.52
لیزین (درصد) Lysine (%)	1.20	1.34	1.10	1.05	0.90	0.90

متیونین+سیستئین(درصد) Methionine + cysteine (%)	0.90	0.92	0.81	0.79	0.75	0.74

[۱] کنسانتره A: در یک کیلوگرم کنسانتره، ۱۳۰۰ کیلوکالری انرژی قابل‌متابولیسم، ۴/۷ درصد لیزین، ۱۰/۳۵ درصد متیونین، ۲/۶ درصد ترئونین، ۱۹/۶ درصد کلسیم، ۱۲/۸ درصد فسفر قابل دسترس، ۲/۹ درصد سدیم و ۴/۲ درصد کلر (۱ تا ۲۴ روزگی). کنسانتره B: در یک کیلوگرم کنسانتره، ۱۱۷۰ کیلوکالری انرژی قابل‌متابولیسم، ۵/۲ درصد لیزین، نه درصد متیونین، ۲/۸ درصد ترئونین، ۲۱ درصد کلسیم، ۱۲/۲ درصد فسفر قابل‌دسترس، ۲/۶ درصد سدیم و ۳/۸ درصد کلر (۲۵ تا ۴۲ روزگی)

[۲] در هر کیلوگرم جیره مقادیر زیر تأمین می‌شود: ویتامین A: ۹۰۰ IU، ویتامین D_3: ۲۰۰۰ IU، ویتامین E: ۱۸ IU، ویتامین K_3: دو میلی‌گرم، ویتامین B_1: ۸/۱ میلی‌گرم، ویتامین B_2: ۶/۶ میلی‌گرم، ویتامین B_6: سه میلی‌گرم، ویتامین B_{12}: ۱۵ میکروگرم، نیاسین: ۳۰ میلی‌گرم، اسید پانتوتنیک: ۱۰ میلی‌گرم، بیوتین: یک میلی‌گرم، آنتی‌اکسیدانت: ۱۰۰ میلی‌گرم، منگنز: ۱۰۰ میلی‌گرم، آهن: ۵۰ میلی‌گرم، روی: ۸۵ میلی‌گرم، مس: ۱۰ میلی‌گرم، ید: ۵/۱ میلی‌گرم، سلنیوم: n, میلی‌گرم.

[1] Concentrate A= in 1 kg of concentrate, 1300 kcal of metabolizable energy, 4.7% lysine, 10.35% methionine, 2.6% threonine, 19.6% calcium, 12.8% available phosphorus, 2.9 % sodium and 4.2% chlorine (1 to 24 days). Concentrate B= in 1 kg of concentrate, 1170 kcal of metabolizable energy, 5.2% lysine, 9% methionine, 2.8% threonine, 21% calcium, 12.2% available phosphorus, 2.6% sodium and 3.8% chlorine (25 to 42 days).

[2] The following values are provided per kg of diet: vitamin A: 900 IU, vitamin D_3: 2000 IU, vitamin E: 18 IU, vitamin K3: 2 mg, vitamin B_1: 8.1 mg, vitamin B_2: 6.6 mg, vitamin B_6: 3 mg. vitamin B_{12}: 15 µg, niacin: 30 mg, pantothenic acid: 10 mg, biotin: 1 mg, antioxidants: 100 mg, manganese: 100 mg, iron: 50 mg, zinc: 85 mg, copper: 10 mg, iodine: 5.1 mg, selenium: 2mg

نتایج و بحث

تأثیر لیپیدول و ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف پرورش در جدول ۲ آورده شده است. در دوره آغازین، مصرف خوراک پرندگان تغذیه شده با جیره‌های مختلف آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت. تغذیه پرندگان با جیره‌های کم انرژی بدون افزودنی یا حاوی لیپیدول یا ال-کارنیتین به‌صورت جدا منجر به کاهش بازده ضریب تبدیل خوراک و افزایش وزن در مقایسه با پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد شدند (P<۰/۰۵). افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک بین پرندگان دریافت‌کننده جیره شاهد (۲۲۰/۱ گرم، ۱/۳۳) و پرندگان دریافت‌کننده جیره کم انرژی حاوی لیپیدول + ال-کارنیتین (۲۱۶/۶ گرم، ۱/۳۴) مشابه بود. در دوره رشد، مصرف خوراک پرندگان دریافت‌کننده جیره‌های کم انرژی حاوی ال-کارنیتین یا ال-کارنیتین + لیپیدول در مقایسه با پرندگان دریافت‌کننده جیره کم انرژی بدون افزودنی کمتر بود (P<۰/۰۵). تفاوتی بین پرندگان دریافت‌کننده جیره شاهد و سایر جیره‌ها از نظر مصرف خوراک وجود نداشت. افزایش وزن پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد و پرندگان تغذیه شده با جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و لیپیدول + ال-کارنیتین مشابه بود. افزایش وزن پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد در مقایسه با پرندگان تغذیه شده با جیره‌های کم انرژی بدون افزودنی و حاوی ال-کارنیتین بیشتر بود (P<۰/۰۵). همچنین، ضریب تبدیل خوراک بین پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد و جیره کم انرژی حاوی لیپیدول + ال-کارنیتین مشابه بود. بدترین ضریب تبدیل خوراک مربوط به پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی بود (P<۰/۰۵).

در دوره پایانی، مصرف خوراک پرندگان تغذیه شده با جیره‌های مختلف آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت. جیره‌های کم انرژی حاوی ال-کارنیتین و لیپیدول به‌صورت جدا و توأم با یکدیگر سبب کاهش بازده افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک پرندگان نسبت به شاهد شدند (P<۰/۰۵). پرندگان دریافت‌کننده جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و لیپیدول + ال-کارنیتین نسبت به پرندگان دریافت‌کننده جیره‌های کم انرژی بدون افزودنی و ال-کارنیتین افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک بهتری داشتند (P<۰/۰۵). همچنین، پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی حاوی ال-کارنیتین افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک بهتری نسبت به پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی بدون افزودنی داشتند (P<۰/۰۵). در کل دوره پرورش، مصرف خوراک پرندگان تغذیه شده با جیره‌های مختلف آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت. افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک پرندگان دریافت‌کننده جیره شاهد نسبت به پرندگان دریافت‌کننده سایر جیره‌ها بهتر بود (P<۰/۰۵). با این حال، پرندگان دریافت‌کننده جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول + ال-کارنیتین ضریب تبدیل خوراک (۱/۷۹) مشابهی با پرندگان دریافت‌کننده جیره شاهد (۱/۷۵) داشتند. پرندگان تغذیه شده با جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و لیپیدول + ال-کارنیتین نسبت به پرندگان تغذیه شده با جیره‌های کم انرژی حاوی ال-کارنیتین و بدون افزودنی افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک بهتری داشتند (P<۰/۰۵). همچنین، پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی حاوی ال-کارنیتین نسبت به پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی بدون افزودنی ضریب تبدیل خوراک بهتری داشت (P<۰/۰۵).

جدول ۲- اثر لیپیدول و ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی بر عملکرد رشد جوجه گوشتی طی دوره‌های مختلف آزمایشی

Table 2- Effect of lipidol and L-carnitine in low energy diets on growth performance of broiler chicken during different experimental periods

پارامترها Parameters	شاهد Control	جیره کم انرژی Low energy diet	جیره کم انرژی+ ال-کارنیتین Low energy diet + L-carnitine	جیره کم انرژی+ لیپیدول + Low energy diet Lipidol	جیره کم انرژی+ال-کارنیتین+لیپیدول Low energy diet+ L-carnitine+lipidol	میانگین خطای استانداردSEM	احتمال P-value	مقایسه شاهد با سایر تیمارها Vs to control
دوره آغازین (۱-۱۰روزگی) Starter (1-10 day)								
مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/period)	292.1	297.2	291.1	290.1	291.4	4.61	0.83	0.95
افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	220.1^{a}	191.5^{d}	199.5^{cd}	207.9^{bc}	216.6^{ab}	2.71	<0.0001	<0.0001
ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	1.33^{d}	1.55^{a}	1.46^{b}	1.39^{c}	1.34^{cd}	0.012	<0.0001	<0.0001
دوره رشد (۱۱- ۲۴روزگی) Grower (11-24 day)								
مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/period)	1359^{ab}	1408^{a}	1311^{b}	1343^{ab}	1318^{b}	17.4	0.0096	0.48
افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	828^{a}	762^{b}	766^{b}	795^{ab}	798^{ab}	8.45	0.0004	0.0001
ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	1.64^{d}	1.85^{a}	1.71^{b}	1.69^{bc}	1.65^{cd}	0.01	<0.0001	<0.0001
دوره پایانی (۲۵- ۴۲روزگی) finisher (25-42 day)								
مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/period)	2708	2572	2622	2656	2660	38.8	0.21	0.09
افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	1438^{a}	1202^{d}	1264^{c}	1332^{b}	1365^{b}	14.1	<0.0001	<0.0001
ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	1.88^{d}	2.14^{a}	2.07^{b}	1.99^{c}	1.95^{c}	0.013	<0.0001	<0.0001
کل دوره (۱- ۴۲روزگی) Total period(1-42day)								
مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/period)	4359	4240	4214	4275	4270	53.5	0.42	0.09
افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	2486^{a}	2139^{c}	2225^{c}	2328^{b}	2379^{b}	22.1	<0.0001	<0.0001
ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	1.75^{d}	1.98^{a}	1.89^{b}	1.83^{c}	1.79^{cd}	0.011	<0.0001	<0.0001

^{a,b,c} میانگین‌های هر ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

^{a,b,c} Means within same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

کاهش میزان رشد جوجه‌ها به‌دنبال کاهش سطح انرژی جیره در بعضی از پژوهش‌ها گزارش شده است. سطح انرژی در خوراک به‌شدت بر ترکیب بدن و عملکرد رشد تأثیر می‌گذارد (Saleh et al., 2020Papadopoulos et al., 2018 ;). در پژوهشی نشان دادند که افزودن امولسیفایر موجب افزایش خوراک مصرفی، افزایش وزن و ضریب تبدیل غذایی می‌شود. همچنین این محققان پیشنهاد کردند که اضافه نمودن امولسیفایر، عملکرد تولید را بهبود می‌بخشد (Pashaee Jalal et al., 2021). در آزمایش حاضر، ضریب تبدیل خوراک در کل دوره پرورش در پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی حاوی ال-کارنیتین + لیپیدول در مقایسه با پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد مشابه بود. ترکیبات حاوی فسفولیپید علاوه‌بر بخش آب‌دوست، دارای بخش آب‌گریز نیز هستند و این بخش تمایل بالایی برای ترکیب با روغن‌ها و چربی‌های جیره در روده کوچک دارد و می‌تواند موجب افزایش امولسیونه شدن و جذب بهتر مواد مغذی و در مجموع، بهبود عملکرد جوجه‌های جوان گردد. مشاهده شده است که مکمل نمودن جیره با امولسیفایرها قابلیت هضم چربی را به‌ویژه در جیره‌های حاوی سطوح بالای چربی افزایش داده و بازده استفاده از چربی و در نتیجه، ضریب تبدیل خوراک را بهبود می‌بخشد (Roy et al., 2010). در پژوهشی نشان دادند که افزودن ۲۵۰ گرم در تن امولسیفایر آرتیفایر به جیره‌هایی با کاهش انرژی، سبب بهبود عملکرد جوجه‌های گوشتی می‌شود (Pashaee Jalal et al., 2021). ال-کارنیتین از طریق تسهیل در انتقال اسیدهای چرب بلند زنجیر از غشاء به داخل میتوکندری، می‌تواند نقش مهمی در فرآیند بتا-اکسیداسیون ایفا نموده و منجر به تولید ATP و در نهایت، افزایش سطح انرژی در بدن پرنده شود (Zhang et al., 2010). محققین بیان کردند که تغذیه ال-کارنیتین (۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در جیره جوجه‌های گوشتی باعث بهبود افزایش وزن، ضریب تبدیل خوراک و شاخص تولید در هر دو دوره پایانی و کل پرورش شد (Babazadeh Aghdam et al., 2015). در آزمایش حاضر، در کل دوره پرورش، پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی حاوی ال-کارنیتین نسبت به پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی بدون افزودنی افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک بهتری داشتند. بهبود عملکرد ناشی از مصرف ال-کارنیتین می‌تواند با بهبود استفاده از اسیدهای چرب و انرژی جیره در ارتباط باشد.

درصد نسبی وزن کبد، قلب، طحال، بورس، لاشه، سینه، ران و دستگاه گوارش تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند. در مقایسه با شاهد، پرندگانی که با جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و ال-کارنیتین به‌صورت جدا و با هم تغذیه شده بودند درصد چربی حفره شکمی کمتری داشتند (P<۰/۰۵). همچنین، پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد تمایل به بزرگ‌تر شدن درصد قلب نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی نشان دادند (P=۰/۰۶). تمایل به کاهش وزن نسبی کبد (P=۰/۱۸) و افزایش درصد سینه (P=۰/۱۵) در پرندگان تغذیه شده با جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و ال-کارنیتین به‌صورت جدا و با هم نسبت به پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی بدون افزودنی مشاهده شد (جدول ۳).

در پرندگان کبد نقش مهمی در متابولیسم چربی در بدن ایفا می‌کند و ۹۵ درصد سنتز اسیدهای چرب در کبد اتفاق می‌افتد. در جیره‌های با انرژی بالاتر، انرژی اضافه برای ذخیره شدن توسط کبد به چربی تبدیل می‌شود و فشار بر روی کبد و فعالیت آن وارد می‌شود. احتمالاً کاهش وزن کبد و چربی محوطه بطنی ممکن است به‌دلیل کاهش تجمع چربی در کبد و محوطه شکمی باشد (Boontiam et al., 2017).

همچنین لیزوفسفولیپید موجب تغییر در گردش و تسهیل جذب چربی و پروتئین برای تبدیل به عضلات به‌جای رسوب چربی در شکم می‌شود که در نتیجه بر روی رسوبات اسید چرب و اسید آمینه در گوشت اثر می‌گذارد. همچنین، گزارش کردند که افزودن ۰/۱۵ درصد لیزوفسفولیپید می‌تواند وزن سینه را افزایش دهد که مطابق با آزمایش حاضر می‌باشد (Boontiam et al., 2017). نشان دادند، افزودن ۰/۰۵ درصد امولسیفایر ممکن است وزن طحال را افزایش دهد، امّا تأثیر کمی بر عملکرد لاشه در زمان اضافه شدن به جیره‌های با ۱۵۰ کیلوکالری انرژی پایینتر از حد توصیه شده تجاری دارد (Cho et al., 2012). در آزمایشی دیگر با افزودن لیزوفسفولیپید به جیره جوجه‌های گوشتی هیچ‌گونه تغییر در گروه‌های آزمایشی در مورد بازده لاشه، وزن سینه، ران و بال‌ها مشاهده نکردند (Zampiga et al., 2016). همچنین مشخص شد که استفاده از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ال-کارنیتین در جیره جوجه‌های گوشتی باعث کاهش چربی حفره بطنی می‌شود. کاهش چربی حفره بطنی ناشی از افزایش انتقال اسیدهای چرب به داخل میتوکندری توسط ال-کارنیتین و در نتیجه، بتااکسیداسیون بیشتر اسیدهای چرب است. این موضوع می‌تواند دلیل مهمی برای کاهش مقدار چربی محوطه بطنی باشد (Parsaeimehr et al., 2013).

جدول ۳- اثر لیپیدول و ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی بر خصوصیات لاشه (درصد از وزن بدن زنده) جوجه‌های گوشتی در ۴۲ روزگی

Table 3- Effect of lipidol and L-carnitine in low energy diets on carcass characteristics (% live body weight) of broiler chicken at 42 day

پارامترها Parameters	شاهد Control	جیره کم انرژی Low energy diet	جیره کم انرژی+ ال-کارنیتین Low energy L- + diet carnitine	جیره کم انرژی+ لیپیدول Low energy lipidol + diet	جیره کم انرژی+ال- کارنیتین+لیپیدول low energy diet + L-carnitine+lipidol	میانگین خطای استاندارد SEM	احتمال P-value	مقایسه شاهد با سایر تیمارها Vs to control
کبد (درصد) Liver (%)	2.24	2.31	2.19	2.15	2.08	0.066	0.18	0.42
قلب (درصد) Heart (%)	0.543	0.511	0.480	0.489	0.541	0.017	0.06	0.06
طحال (درصد) Spleen (%)	0.112	0.117	0.121	0.095	0.103	0.009	0.25	0.75
بورس (درصد) Bursa of fabricius (%)	0.171	0.182	0.169	0.199	0.190	0.011	0.33	0.27
بازده لاشه (درصد) Carcass yield (%)	66.3	62.8	65.4	65.2	65.7	1.37	0.47	0.34
چربی شکمی (درصد) Abdominal fat (%)	1.85^{a}	1.77^{ab}	1.42^{bc}	1.45^{bc}	1.37^{c}	0.08	0.002	0.002
سینه (درصد) Breast (%)	26.3	22.9	25.8	26.1	26.6	1.07	0.15	0.44
ران (درصد) Thigh (%)	18.5	19.6	18.8	19.1	19.2	0.63	0.78	0.35
دستگاه گوارش (درصد) Gastrointestinal tract (%)	7.15	7.04	7.12	7.09	7.13	0.18	0.99	0.79

[a,b,c] میانگین‌های هر ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

[a,b,c] Means within same row with different superscripts differ (P < 0.05).

در دوره آغازین، قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین و چربی پرندگانی که با جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و لیپیدول + ال-کارنیتین تغذیه شده بودند در مقایسه با پرندگان تغذیه شده با جیره-های کم انرژی حاوی ال-کارنیتین، بدون افزودنی و شاهد بیشتر بود (P<۰/۰۵). با این حال، قابلیت هضم چربی پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی حاوی ال-کارنیتین در مقایسه با جیره کم انرژی بدون افزودنی بیشتر بود (P<۰/۰۵). تفاوتی از نظر قابلیت هضم ماده آلی بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت. در کل قابلیت هضم پروتئین (P=۰/۰۶) و چربی (P<۰/۰۵) پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد نسبت به پرندگان تغذیه شده با سایر جیره‌های آزمایشی کمتر بود. در دوره رشد، قابلیت هضم ماده خشک پرندگانی که با جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و لیپیدول + ال-کارنیتین تغذیه شده بودند در مقایسه با پرندگان تغذیه شده با جیره‌های کم انرژی حاوی ال-کارنیتین، بدون افزودنی و شاهد بیشتر بود (P<۰/۰۵). تفاوتی از نظر قابلیت هضم پروتئین، چربی و ماده آلی بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت. در کل قابلیت هضم ماده خشک (P<۰/۰۵) پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد نسبت به پرندگان تغذیه شده با سایر جیره‌های آزمایشی کمتر بود (جدول ۴).

جدول ٤- اثر لیپیدول و ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی بر قابلیت هضم مواد مغذی (درصد) جوجه‌های گوشتی در دوره‌های آغازین و رشد

Table 4- Effect of lipidol and L-carnitine in low energy diets on nutrient digestibility (%) of broiler chicken at starter and grower periods

پارامترها Parameters	شاهد Control	جیره کم انرژی Low energy diet	جیره کم انرژی+ ال-کارنیتین Low energy diet + L-carnitine	جیره کم انرژی+ لیپیدول Low energy diet + lipidol	جیره کم انرژی+ال-کارنیتین+لیپیدول Low energy diet + L- carnitine+lipidol	میانگین خطای استاندارد SEM	احتمال P-value	مقایسه شاهد با سایر تیمارها Vs to control
دوره آغازین Starter period								
ماده خشک (درصد) Dry matter (%)	72.1^{bc}	69.5^{c}	70.5^{c}	74.3^{ab}	75.2^{a}	0.66	<0.0001	0.75
پروتئین (درصد) Protein (%)	68.3^{b}	67.9^{b}	68.4^{b}	73.5^{a}	73.8^{a}	1.14	0.002	0.06
چربی (درصد) Fat (%)	72.9^{bc}	71.2^{c}	75.8^{ab}	77.3^{a}	78.1^{a}	0.89	0.0003	0.02
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	71.4	70.1	71.5	70.6	72.8	0.85	0.26	0.86
دوره رشد Grower period								
ماده خشک (درصد) Dry matter (%)	78.2^{b}	77.5^{b}	78.4^{b}	82.7^{a}	84.5^{a}	0.78	<0.0001	0.01
پروتئین (درصد) Protein (%)	65.9	64.3	65.8	66.5	66.9	0.83	0.28	0.97
چربی (درصد) Fat (%)	80.5	79.8	83.4	84.2	82.7	1.32	0.14	0.19
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	72.5	72.3	73.8	71.7	72.6	0.96	0.66	0.94

[a,b,c] میانگین‌های هر ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

[a,b,c] Means within same row with different superscripts differ (P < 0.05).

قابلیت هضم فیزیولوژیکی چربی در طیور جوان به‌شکل ضعیفی توسعه یافته است، ولی از ۱/۵ تا ۳/۵ هفتگی به‌شکل وسیعی بهبود پیدا می‌کند. بنابراین، مطالعات بسیاری بر روی تأمین امولسیفایرها برای بهبود هضم چربی متمرکز شده‌اند (Ge *et al*., 2019). گزارش کردند که مکمل سدیم استروئیل-۲-لاکتیلات در جیره‌های کم انرژی موجب بهبود عملکرد رشد و کاهش اثرات منفی ایجاد شده توسط کاهش انرژی جیره می‌شود (Wang *et al*., 2016). قابلیت هضم چربی و ماده خشک در جوجه‌های جوان تغذیه شده با جیره حاوی لیزوفسفولیپید بالاتر از جیره‌های بدون مکمل بود (Jansen *et al*., 2015). این گزارشات با نتایج این پژوهش مطابقت داشت که افزودن یک گرم در کیلوگرم لیپیدول به جیره کم انرژی قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین و چربی را در دوره آغازین و قابلیت هضم ماده خشک را در دوره رشد بهبود داد. دلیل اثر فسفولیپیدها بر بهبود هضم چربی، خاصیت امولسیون‌کنندگی آن‌ها و تشکیل میسل در دستگاه گوارش می‌باشد. افزودن امولسیفایرهایی همچون لسیتین و سایر لیزوفسفولیپیدها به جیره طیور قابلیت هضم مواد مغذی را افزایش می‌دهد (Jansen *et al*., 2015). تحقیقات نشان داد افزودن لسیتین به جیره جوجه‌های گوشتی قابلیت هضم اسیدهای چرب و چربی خام را به‌طور غیرخطی بهبود می‌بخشد، اگر چه قابلیت هضم اسید آمینه و پروتئین خام تحت تأثیر لسیتین سویا قرار نگرفت (Hertrampf, 2001). استفاده از ال-کارنیتین در تغذیه طیور سبب تحریک سیستم‌های هضمی، بهبود نقش کبد و افزایش ترشح آنزیم‌های هضمی لوزالمعده می‌شود. در تحقیق حاضر، افزودن ۱۰۰ppm ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی، قابلیت هضم چربی خام را در دوره آغازین بهبود داد. مطابق با این نتایج، گزارش کردند که ال-کارنیتین (۱۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در جیره به‌طور قابل توجهی قابلیت هضم چربی خام و ماده خشک را افزایش داد (Rejabzadeh *et al*., 2013). بنابراین، ال-کارنیتین می‌تواند به‌عنوان محرک رشد با بهبود

قابلیت هضم همراه باشد. در مطالعه‌ای گزارش شده است که ال-کارنیتین موجب افزایش فعالیت لیپاز و کاهش لیپوپروتئین لیپاز سرم می‌شود (Zhang *et al*., 2010). بنابراین، بهبود قابلیت هضم چربی می‌تواند به‌علت افزایش فعالیت لیپاز باشد.

پرندگانی که با جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و ال-کارنیتین به‌صورت جدا یا با هم تغذیه شده بودند، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل بیشتری نسبت به پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد و جیره کم انرژی بدون افزودنی داشتند (P<۰/۰۵). همچنین، پرندگانی که با جیره‌های کم انرژی حاوی ال-کارنیتین و لیپیدول + ال-کارنیتین تغذیه شده بودند، غلظت تری‌گلیسرید (P=۰/۰۵)، کلسترول و LDL خون کمتری نسبت به پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد و جیره کم انرژی بدون افزودنی داشتند (P<۰/۰۵). سطح HDL خون پرندگان تغذیه شده با جیره کم انرژی حاوی لیپیدول + ال-کارنیتین نسبت به پرندگان دریافت‌کننده جیره کم انرژی بدون افزودنی بیشتر بود (P<۰/۰۵) (جدول ۵).

در آزمایشی گزارش کردند که غلظت کلسترول، تری‌گلیسرید و LDL در پلاسمای خون جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره حاوی ۱/۶ درصد لسیتین کمتر از غلظت ترکیبات مذکور در پرندگان شاهد و پرندگان تغذیه شده با ۰/۲ درصد لسیتین می‌باشد. در حالی‌که غلظت HDL در این پرندگان بیشتر از شاهد بود (Banikamal *et al*., 2015). مطابق با نتایج این آزمایش، بیان کردند که کلسترول کل و LDL با مکمل کردن جیره با امولسیفایر (گلیسرول پلی‌اتیلن گلیکول ریسینولئات) کاهش یافت و همچنین HDL و TAC تحت تأثیر جیره با امولسیفایر افزایش معنی‌دار پیدا کرد. مکانیسم این عمل ممکن است بدین ترتیب باشد که شیلومیکرون‌ها با سرعت بیشتری از خون پاک شده و یا با سرعت کمتری در خون ترشح می‌شوند Zhao and (Kim, 2017). مطابق با نتایج این پژوهش، گزارش کردند که افزودن ال-کارنیتین در سطح ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به جیره جوجه‌های گوشتی باعث کاهش معنی‌دار تری‌گلیسرید و کلسترول سرم خون شد (Shirali *et al*., 2016). همچنین، در مطالعه‌ای بر روی جوجه‌های گوشتی نشان داده شد که استفاده از ال-کارنیتین (۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) سبب کاهش مقدار تری‌گلیسرید و LDL سرم خون می‌شود (Zhang *et al*., 2010). کاهش مقدار تری‌گلیسرید خون پرندگان تغذیه شده با مکمل ال-کارنیتین می‌تواند به‌دلیل افزایش کاتابولیسم اسیدهای چرب باشد. با افزایش ظرفیت انتقال اسیدهای چرب به غشای داخلی میتوکندری، سطح تری‌گلیسرید خون کاهش می‌یابد. تغذیه کارنیتین فعالیت لیپاز را افزایش و لیپوپروتئین لیپاز را کاهش می‌دهد و از این طریق منجر به تسریع هیدرولیز تری‌گلیسیرید به گلیسرول و اسیدهای چرب می‌شود، در حالی که مقدار تری‌گلیسیرید خون را کاهش می‌دهد (Zhang *et al*., 2010). در پژوهشی، مکمل ال-کارنیتین (سطوح ۰، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) به جیره جوجه‌های گوشتی اضافه شد. این پژوهشگران گزارش کردند که سطوح ال-کارنیتین تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سرم خون داشت و سبب کاهش مالون‌دی‌آلدئید و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام سرم خون شد (Hosseintabar Ghasemabad *et al*., 2017).

پرندگانی که با جیره‌های کم انرژی حاوی لیپیدول و ال-کارنیتین به‌صورت جدا و با هم تغذیه شده بودند غلظت مالون‌دی‌آلدئید گوشت ران و سینه کمتری در روزهای سه، شش و نه روز پس از کشتار و نگهداری در یخچال (چهار درجه سلسیوس) در مقایسه با پرندگان تغذیه شده با جیره‌های کم انرژی بدون افزودنی و جیره شاهد داشتند (P<۰/۰۱) (جدول ۶). اکسیداسیون لیپید یک مکانیسم مهم است که کیفیت گوشت را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث تغییرات مضر در بو و مزه، بافت، رنگ و ارزش غذایی می‌شود. مالون‌دی‌آلدئید مهم‌ترین شاخص پراکسید چربی و استرس اکسیداتیو بافت‌های بدن است که به‌طور غیر مستقیم آسیب به سلول را نشان می‌دهد (Gan *et al*., 2009). میزان اکسیداسیون محتوای لیپید خوراک‌ها و گوشت به سطح چربی، ترکیب اسیدهای چرب و شرایط نگهداری آن‌ها بستگی دارد. در اثر اکسیداسیون اولیه اسیدهای چرب غیراشباع، مالون‌دی‌آلدئید تشکیل می‌شود که این واکنش با افزایش غیر اشباعیت چربی جیره با سرعت و کمیت بیشتری انجام می‌شود. اکسیداسیون اجزای چربی در بافت‌های ماهیچه از جمله دلایل مهم آسیب دیدن کیفیت گوشت بعد از ذبح می‌باشد. مقادیر تیوباربیوتیک که بر حسب غلظت مالون‌دی‌آلدئید بیان می‌شود، به‌عنوان شاخصی جهت بیان درجه اکسیداسیون گوشت محسوب می‌شود (Bou *et al*., 2006). در رابطه با امولسیفایر نتایج نشان دادند که افزودن ۰/۱ درصد لسیتین سویا به جیره جوجه‌های گوشتی موجب کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدئید و افزایش سوپراکسید دیسموتاز در مقایسه با جیره شاهد و جیره حاوی ۰/۰۵ لسیتین درصد می‌شود (Siyal *et al*., 2017).

جدول ۵- اثر لیپیدول و ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی سرم خون جوجه‌های گوشتی در ۴۲ روزگی

Table 5- Effect of lipidol and L-carnitine in low energy diets on blood biochemistry parameters of broiler chicken at 42 day

پارامترها Parameters	شاهد Control	جیره کم انرژی Low energy diet	جیره کم انرژی+ ال-کارنیتین + Low energy diet L- carnitine	جیره کم انرژی+ لیپیدول Low energy diet lipidol +	جیره کم انرژی+ال-کارنیتین+لیپیدول L- + low energy diet carnitine+lipidol	میانگین خطای استاندارد SEM	احتمال P-value	مقایسه شاهد با سایر تیمارها Vs to control
ظرفیت آنتی اکسیدانی تام (میلی مول در لیتر) Total antioxidant capacity (mmol/L)	1.77^{b}	1.78^{b}	2.02^{a}	2.01^{a}	2.11^{a}	0.05	0.0005	0.002
تری گلیسرید (میلی‌گرم در دسی لیتر) Tri glyceride (mg/dl)	51.6	49.3	45.2	50.6	44.2	1.92	0.054	0.06
کلسترول (میلی‌گرم در دسی لیتر) Cholesterol (mg/dl)	163.4^{a}	156.1^{a}	131.4^{b}	149.1^{a}	129.7^{b}	3.85	<0.0001	0.0001
کلسترول LDL- (میلیگرم در دسی لیتر) LDL- cholesterol (mg/dl)	92.5^{a}	87.2^{a}	62.3^{b}	75.6^{ab}	58.1^{b}	4.71	0.0003	0.0009
کلسترول HDL- (میلیگرم در دسی لیتر) HDL- cholesterol (mg/dl)	51.8^{ab}	50.7^{b}	52.4^{ab}	54.8^{ab}	55.2^{a}	0.96	0.019	0.19

[a,b,c] میانگین‌های هر ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

[a,b,c] Means within same row with different superscripts differ (P < 0.05).

جدول ٦- اثر لیپیدول و ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی بر اکسیداسیون چربی (میلی‌گرم غلظت مالون دی آلدئید بر کیلوگرم گوشت) گوشت سینه و ران جوجه‌های گوشتی

Table 6- Effect of lipidol and L-carnitine in low energy diets on lipid oxidation (mg malondialdehyde (MDA) concentrations /kg meat) breast and thigh meats of broiler chickens

پارامترها Parameters	شاهد Control	جیره کم انرژی Low energy diet	جیره کم انرژی+ ال-کارنیتین Low energy diet + L- carnitine	جیره کم انرژی+ لیپیدول Low energy diet + lipidol	جیره کم انرژی+ ال-کارنیتین+ لیپیدول Low energy diet + L- carnitine+lipidol	میانگین خطای استاندارد SEM	احتمال P-value	مقایسه شاهد با سایر تیمارها Vs to control
	ران (میلی‌گرم مالون دی آلدئید بر کیلوگرم گوشت) Thigh (mg MDA /kg meat)							
سه روز Three day	3.71^a	3.73^a	3.34^b	3.29^b	3.25^b	0.057	<0.0001	0.0003
شش روز Six day	6.41^a	6.38^a	6.12^ab	5.97^b	5.92^b	0.09	0.003	0.008
نه روز Nine day	8.13^a	8.15^a	7.65^b	7.54^b	7.37^b	0.09	<0.0001	0.0004
	سینه (میلی‌گرم مالون دی آلدئید بر کیلوگرم گوشت) Breast (mg MDA /kg meat)							
سه روز Three day	2.68^a	2.68^a	2.35^b	2.38^b	2.24^b	0.037	<0.0001	<0.0001
شش روز Six day	5.37^a	5.34^a	5.13^ab	4.85^c	4.92^bc	0.059	<0.0001	0.0003
نه روز Nine day	7.55^a	7.54^a	7.24^b	7.18^b	7.02^b	0.062	<0.0001	0.0006

[a,b,c] میانگین‌های هر ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

[a,b,c] Means within same row with different superscripts differ (P < 0.05).

همچنین مطالعه‌ای که بر روی موش انجام شد، نشان داد که لسیتین سویا باعث کاهش غلظت MDA در خون می‌شود. به‌طور مشابه بیان شده است که لسیتین سویا دارای خواص آنتی اکسیدانی است و باعث کاهش آسیب‌های کبدی می‌شود (Attia, and Kamel, 2012). ترکیبات آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی مانند ال-کارنیتین می‌توانند باعث خنثی شدن اثرات سمی گونه‌های فعال اکسیژن شوند (Akturk *et al*., 2005). در مطالعه حاضر نشان داده شد که ال-کارنیتین و لیپیدول باعث کاهش معنی‌داری در سطح غلظت MDA گوشت ران و سینه نسبت به گروه شاهد شده است. عملکرد آنتی‌اکسیدانی ال- کارنیتین در خنثی‌کردن اثرات اکسیداتیو، بیشتر از همه به توانایی این ترکیب در پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد مربوط می‌شود. نشان داده است که ال-کارنیتین دارای توانایی در پاک‌سازی رادیکال‌های سوپراکسید می‌باشد. ال- کارنیتین همچنین باعث تنظیم فعالیت آنزیم‌هایی کـه علیه آسیب اکسیداتیو عمل می-کنند، شده و باعث حفاظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز از آسیب‌های پراکسیداتیو می‌شود (Uchendu *et al*., 2012). در نهایت، می‌توان نتیجه‌گیری کرد کـه اثرات محافظتی و آنتی‌اکسیدانی ال- کارنیتین احتمالاً از طریـق پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بـدن ایجـاد می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به مشاهدات پژوهش حاضر، می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده همزمان از مکمل‌های یک گرم در کیلوگرم لیپیدول و ۱۰۰ppm ال-کارنیتین در جیره‌های کم انرژی (۱۵۰ کیلوکالری کمتر از جیره شاهد) جوجه‌های گوشتی، توانست اثرات منفی جیره‌های کم انرژی بر عملکرد رشد را رفع کند. علاوه‌براین توانست قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه‌های چربی خون و ماندگاری گوشت را نیز نسبت به پرندگان تغذیه شده با جیره شاهد بهبود بخشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران به خاطر حمایت مالی طرح کمال سپاس را دارند.

References

1. Abedpour, A., Jalali, S. M. A., & Kheiri, F. (2017). Effect of vegetable oil source and l-carnitine supplements on growth performance, carcass characteristics and blood biochemical parameters of Japanese quails (Coturnix japonica). *Iranian Journal of Applied Animal Science, 7(1),* 147-153.
2. Akturk, D., Demirin, H., Sutcu, R., Yilmaz, N., Koylu, H., & Altuntas, I. (2005). The effect of diazinon on lipid peroxidation and ameliorating role of vitamin E and C. *Cell Biotoxol, 22(6),* 455-461. DOI: 10.1007/s10565-006-0138-5.
3. Attia, Y. A., & Kamel, K. I. (2012). Semen quality, testosterone, seminal plasma biochemical and antioxidant profiles of rabbit bucks fed diets supplemented with different concentrations of soybean lecithin. *Animal, 6(5),* 824-833. DOI: 10.1017/S1751731111002229.
4. Babazadeh Aghdam, A., Ghazi Harsini, S., & Daneshyar, M. (2015). The effect of different levels of L-carnitine on performance, blood parameters and carcass characteristics of broiler chickens fed with high fat diets under heat stress condition. *Journal of Veterinary Research, 70(3),* 341-348. (In Persian).
5. Banikamal, H. S., Zhandi, M., Shakeri, M., & Moravej, H. (2015). Effects of different levels of soybean lecithin on performance and blood lipids of broiler chicks. *Journal of Animal Production, 17(1),* 29-37. DOI: 10.22059/jap.2015.54017. (In Persian).
6. Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry, 239(1),* 70-76. DOI: 10.1006/abio.1996.0292.
7. Boontiam, W., Jung, B. & Kim, Y. Y. (2017). Effects of lysophospholipid supplementation to lower nutrient diets on growth performance, intestinal morphology, and blood metabolites in broiler chickens. *Poultry science, 96(3),* 593-601 .DOI: 10.3382/ps/pew269.
8. Botsoglou, N. A., Fletouris, D. J., Papageorgiou, G. E., Vassilopoulos, V. N., Mantis, A. J., & Trakatellis, A. G. (1994). Rapid, sensitive, and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food, and feedstuff samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 42(9),* 1931-1937. DOI: 10.1021/jf00045a019 .ref38
9. Cho, J. H., Zhao, P. Y., & Kim, I. H. (2012). Effects of emulsifier and multi-enzyme in different energy density diet on growth performance, blood profiles, and relative organ weight in broiler chickens. *Journal of Agricultural*

Science, 4(10), 161–168. DOI:10.5539/jas.v4n10p161.

10. Gan, F., Chen, X., Liao, S. F., Lv, C., Ren, F., Ye, G., Pan, C., Huang, D., Shi, J., Shi, X., Augustiniak, A., & Skrzydlewska, E. (2009). L-carnitine in the lipid and protein protection against ethanol-induced oxidative stress. *Alcohol, 43(3),* 217-223. DOI: 10.1016/j.alcohol.2008.12.005.
11. Ge, X. K., Wang, A. A., Ying, Z. X., Zhang, L. G., Su, W. P., Cheng, K., Feng, C. C., Zhou, Y. M., Zhang, L. L., & Wang, T. (2019). Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers. *Poultry science, 98(2),* 887-895. DOI: 10.3382/ps/pey434.
12. Gu, X., & Li, D. (2003). Fat nutrition and metabolism in piglets: A review. *Animal Feed Science and Technology, 109(1),* 151-170. DOI: 10.1016/S0377-8401(03)00171-8.
13. Hertrampf, J. (2001). Features-lecithin improves poultry performance-a performance enhancer derived from soya improves growth in broilers and turkeys and egg production in layers. *Poultry International, 40,* 26-29.
14. Hosseintabar Ghasemabad, B., Baghban Kanani, P., Azimi Youvalari, S., & Bouyeh, M. (2017). Effects of different levels of L-carnitine and additional levels of Lysine-Methionine mixed on performance, cecal microflora and blood antioxidant indices of broiler chick. *Livestock Research, 6(1-2),* 49-63. DOI: 10.22077/jlr.2017.879. (In Persian).
15. Jansen, M., Nuyens, F., Buyes, J., Leleu, S., & Van Campenhout, L. (2015). Interaction between fat type and lysolecithin supplementation in broiler feeds. *Poultry Science Journal, 94(10),* 2506-2515. DOI: 10.3382/ps/pev181.
16. National Research Council. (1994). Nutrient requirements of poultry. 9 th Rev. Ed.NAS-NRC, Washington, DC.
17. Papadopoulos, G., Poutahidis, T., Chalvatzi, S., Di Benedetto, M., Hardas, A., Tsiouris, V., Georgopoulou, I., Arsenos, G., & Fortomaris, P. D. (2018). Effects of lysolecithin supplementation in low-energy diets on growth performance, nutrient digestibility, viscosity and intestinal morphology of broilers. *British Poultry Science, 59,* 232-239. DOI:10.1080/00071668.2018.1423676.
18. Pashaee Jalal, M., Sharifi, S. D., & Honarbakhsh, S. (2021). The effect of using of emulsifier in diets with different energy levels on performance and some of blood traits of broiler chickens. *Animal production, 24(2),* 151-163. DOI: 10.22059/jap.2022.340513.623681. (In Persian).
19. Parsaeimehr, K., Farhoomand, P., Afrouziyeh, M., Najafi, R., & Ahmadie Naghdehi, A. A. (2013). Effects of L-carnitine with different dietary fat sources on performance and some blood metabolites of broiler chickens. *Animal production research, 1(4),* 27-34. (In Persian)
20. Rebouche, C. J. (1992). Carnitine functions and requirements during the life cycle. *Faseb Journal, 6(15),* 3379-3386. DOI: 10.1096/fasebj.6.15.1464372.
21. Rejabzadeh, M., Rezaei, M., & Ansari Pirsarae, Z. (2013). Effect of l-carnitine supplementation to finisher diets with different sources of fat on the performance, carcass characteristics and body composition in broiler chickens. *Animal Science and Research Journal, 92(2),* 51-68. (In Persian)
22. Roy, A., Haldar, S., Mondal, S. & Ghosh, T. P. (2010). Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. *Veterinary Medicine International,* Article ID 262604, 9 pages. DOI: 10.4061/2010/262604.
23. Saleh, A. A., Amber, K. A., Mousa, M. M., Nada, A. L., Awad, W., Dawood, M. A. O., El-Moneim, A., Ebeid, T. A., & Abdel-Daim, M. M. (2020). A mixture of exogenous emulsifiers increased the acceptance of broilers to low energy diets: Growth performance, blood chemistry, and fatty acids traits. *Animals (Basel), 10(3),* 437. DOI: 10.3390/ani10030437.
24. SAS. (2005). SAS User′s guideStatistics. Version 8. SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
25. Shirali, M. A., Salari, S., Tabatabayi Vakili, S., Sari, M., & Jahanian, R. (2016). Effect of vitamin E and L-carnitine on growth performance, blood parameters and immune response of broiler chickens under heat stress. *Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 29(110),* 115-128. DOI: 10.22092/asj.2016.106525. (In Persian).
26. Schneitz, C., Kiiskinen, T., Toivonen, V., & Nasi, M. (1998). Effect of BROILACT on the physicochemical conditions and nutrient digestibility in the gastrointestinal tract of broilers. *Poultry Science, 77(3),* 426-432. DOI: 10.1093/ps/77.3.426.
27. Siyal, F. A., El-Hack, M. E. A., Alagawany, M., Wang, C., Wan, X., He, J., Wang, M., Zhang, L., Zhong, X., Wang, T., & Kuldeep, D. (2017). Effect of soy lecithin on growth performance, nutrient digestibility and hepatic antioxidant parameters of broiler chickens. *International Journal of Pharmacology, 13(4),* 396-402.

DOI:10.3923/ijp.2017.396.402.

28. Sugawara, T., Kushiro, M., Zhang, H., Nara, E., Ono, H., & Nagao, A. (2001). Lysophosphatidylcholine enhances carotenoid uptake from mixed micelles by Caco-2 human intestinal cells. *Journal of Nutrition, 131(11),* 2921-2927. DOI: 10.1093/jn/131.11.2921.
29. Uchendu, C. H., Ambali, S. F., & Ayo, J. O. (2012). The organophpsphate, chlorpyrifos, oxidative stress and the role of some antioxidants: A review. *African Journal of Agricultural Research*, *7(18),* 2720-2728. DOI: 10.5897/AJAR11.2510 .
30. Wang, J. P., Zhang, Z. F., Yan, L., & Kim, I. H. (2016). Effects of dietary supplementation of emulsifier and carbohydrase on the growth performance, serum cholesterol and breast meat fatty acids profile of broiler chickens. *Animal Science Journal*, *87(2),* 250–256. DOI: 10.1111/asj.12412.
31. Zampiga, M., Meluzzi, A., & Sirri, F. (2016). Effect of dietary supplementation of lysophospholipids on productive performance, nutrient digestibility and carcass quality traits of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, *15(3),* 521-528. DOI: 10.1080/1828051X.2016.1192965.
32. Zhang, Y., Ma, Q., Bai, X., Zhao, L., Wang, Q., Ji, C., Liu, L., & Yin, H. (2010). Effects of dietary acetyl-L-carnitine on meat quality and lipid metabolism in arbor acres broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *23(12)*, 1639-1644. DOI: 10.5713/ajas.2010.10168.
33. Zhao, P., Li, H., Hossain, M., & Kim, I. (2015). Effect of emulsifier (lysophospholipids) on growth performance, nutrient digestibility and blood profile in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, *207,* 190-195. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2015.06.007.
34. Zhao, P. Y., & Kim, I. H. (2017). Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers. *Poultry science*, *96(5),* 1341-1347. DOI:10.3382/ps/pew469.